

## Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung charakteristischer Schichtparameter bei hohen Temperaturen

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung charakteristischer Schichtparameter während des Beschichtungsprozesses mittels spektral-optischer Messungen.
- 10 Schichtdickenmessungen zählen zu den bedeutendsten Hilfsmitteln bei der Qualitätskontrolle in der Halbleiterfertigung. Neuerdings werden diese nicht nur zur Qualitätssicherung nach einzelnen Prozessschritten, sondern auch durch Echtzeit-Messungen während der
- 15 Beschichtungsprozesse durchgeführt. Dazu sind verschiedene spektroskopisch-optische Echtzeit-Verfahren bekannt. Bei diesen wird Licht auf die zu vermessende Schichtstruktur geeignet eingestrahlt und dann entweder in Reflexion oder in Transmission vermessen. Typische
- 20 Messverfahren bei senkrechtem Lichteinfall sind: Reflexions-, Transmissions- und Reflexions-Anisotropie-Spektroskopie (RAS). Typische Messverfahren bei schrägem Lichteinfall sind Ellipsometrie und polarisationsabhängige Photometrie. Die hierbei jeweils durch die Schichtstruktur
- 25 erzeugte Änderung der Lichtintensität und/oder Lichtphase wird gemessen. Diese Änderung der Lichtintensität bzw. Lichtphase lässt sich durch physikalische Gesetze beschreiben und ist somit eine gesetzmäßige Funktion der Schichtparameter, also der Schichtdicke und des verwendeten
- 30 Materials (Born/Wolf, Principles of Optics). Aus dieser funktionalen Abhängigkeit lassen sich im Umkehrschluss die einzelnen Schichtparameter bestimmen. Aufgrund dessen, dass zwischen der Änderung der Lichtintensität/Lichtphase und den Schichtparametern nicht-lineare Abhängigkeiten
- 35 bestehen, erfolgt die mathematische Bestimmung der Schichtparameter nicht durch analytische Berechnungen, sondern durch numerische Programm-Algorithmen, wie z.B. Marquardt-Levenberg, Simplex nach Nelder & Mead (Numerical Recipes in C).

- Es ist weiterhin bekannt, dass sich die Eigenschaften aller bekannten Schichtmaterialien (Brechungsindex  $n$  und Absorptionsindex  $k$ ) sowohl mit der Wellenlänge des Lichtes als auch in Abhängigkeit von der Temperatur ändern. Daher ist es notwendig, bei Hochtemperaturprozessen, wie z.B. einem Beschichtungsvorgang, die Temperatur des zu beschichtenden Substrates (im weiteren Probe genannt) exakt zu kennen, um die spektroskopisch-optische Echtzeit-Messung korrekt auswerten zu können.
- Eine Möglichkeit besteht darin, die Probentemperatur aufgrund der mathematischen Abhängigkeiten ebenfalls aus den Änderungen der Lichtintensität/Lichtphase als weiteren Fit-Parameter numerisch zu berechnen. Hierbei lässt sich die Probentemperatur jedoch nur mit einer Genauigkeit von  $\pm 10\text{K}$  bestimmen. Nachteilig daran ist, dass auch die Genauigkeit der charakteristischen Schichtparameter (z.B. der Schichtdicke) aufgrund der mathematischen Implikationen stark beschränkt ist.
- Für eine exaktere Bestimmung der Probentemperatur und damit der Schichtparameter ist die Verwendung von Pyrometern bekannt, da eine direkte Temperaturmessung beispielsweise über geeichte Platinfilmwiderstände oder andere Kontaktthermometer, wie Thermoelemente während eines Beschichtungsprozesses nicht möglich ist.

Da die im Pyrometer gemessene Temperaturstrahlung an der aufwachsenden Schicht interferiert, ist die gemessene Strahlungsintensität nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Schichtdicke anhängig. Dies führt dazu, dass das Pyrometersignal während des Beschichtungsprozesses aufgrund der sich ändernden Schichtdicke auch dann oszilliert, wenn die tatsächliche Temperatur konstant bleibt. Dieses Pyrometer-Signal kann jedoch bezüglich der Emissivität der Probe korrigiert werden, wie aus DE 44 19 476 C2 bekannt ist. Dazu wird geeignetes monochromatisches Licht auf eine Probe eingestrahlt und aus dem reflektierten Anteil wird der Reflexionskoeffizient bestimmt. Aus diesem berechnet sich dann, nach bekannten physikalischen

Gesetzen, die Emissivität  $\epsilon_p$  der Probe (es wird vorausgesetzt, dass das zu beschichtende Substrat selbst an der Pyrometer-Wellenlänge nicht transparent ist). Aus den gewonnenen Messdaten läßt sich dann die absolute  
5 Probentemperatur mit einer Temperatur-Messgenauigkeit von  $\pm 1K$  und besser bestimmen.

Erst durch diese exakte Bestimmung der Absoluttemperatur der Probe lassen sich die gewünschten Schichtparameter  
10 durch Auswertung des reflektierten Lichts mit hoher Genauigkeit ermitteln.

Bei dem in DE 44 19 476 C2 vorgeschlagenen Verfahren ist jedoch nachteilig, dass die sich überlagernden Signale von  
15 Temperaturstrahlung und Reflexionsstrahlung aufwendig voneinander getrennt werden müssen, bevor sie gemessen und ausgewertet werden können. Diese notwendigerweise separat durchzuführende Detektion von Temperaturstrahlung und Reflexionsstrahlung ist in DE 44 19 476 C2 durch eine  
20 komplizierte Anordnung mittels zweifacher phasenempfindlicher Frequenzmodulation durch sog. Chopper und Lock-in Verstärker ausgeführt. Durch diese doppelte Modulation sind typische industrielle Anwendungen, bei denen es auf hohe Zeitauflösung ankommt (z.B. schnell  
25 rotierende Proben in Mehrscheibenreaktoren) nicht korrekt messbar, da bedingt durch die zwangsläufig reduzierte Zeitauflösung des Detektionssystems nicht zwischen Probenträger und Probe unterschieden werden kann. Deshalb wurde in WO 02/26435 A1 eine Anordnung vorgeschlagen, in  
30 welcher durch die Kombination mehrerer Pyrometer zwischen Probentemperatur und Probenträger-Temperatur unterschieden werden kann. Die gleichzeitige Nutzung mehrerer Pyrometer ist allerdings ebenfalls eine sehr aufwendige und kostenintensive Lösung.

35 Weiterhin ist es bei allen bisherigen Lösungen zur Messung der Probentemperatur nachteilig, dass die Emissivität der Probe, welche das Pyrometer-Signal beeinflusst, unter realen industriellen Bedingungen (rotierende, taumelnde Proben) nicht exakt gemessen werden kann. Dies führt unter

Umständen zu einer ungenauen Messung der Probentemperatur, womit eine ungenaue Bestimmung der charakteristischen Schichtparameter einher geht.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein  
5 Verfahren zur Bestimmung charakteristischer Schichtparameter mittels spektral-optischer Messungen anzugeben, welches eine Präzisionsmessung der Probentemperatur auch unter den Bedingungen industrieller  
10 Wachstumsprozesse, d.h. taumelnder Proben und/oder schneller Wechsel zwischen Probenträger und Probe erlaubt und weiterhin eine Detektion von Temperaturstrahlung und Reflexionsstrahlung mittels zweifacher phasenempfindlicher Frequenzmodulation durch sog. Chopper und Lock-in  
15 Verstärker bzw. mehrerer Pyrometer vermeidet. Dadurch soll auf einfachste Weise eine gleichzeitige oder zeitnahe Messung sowohl der absoluten Temperatur der Schichtenprobe als auch zumindest einer weiteren spektroskopisch-optischen Messgröße ermöglicht werden, um in Echtzeit  
20 charakteristische Größen des Schichtsystems (z.B. Schichtdicken in Hochtemperaturprozessen) mit hoher Genauigkeit bestimmen zu können. Weiterhin soll eine Vorrichtung zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens angegeben werden.

25 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 (Verfahrensanspruch) und die Merkmale im Anspruch 13 (Vorrichtungsanspruch) im Zusammenwirken mit den Merkmalen im Oberbegriff. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung  
30 sind in den Unteransprüchen enthalten.

Ein besonderer Vorteil besteht darin, dass für die spektral-optische Messung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sowohl eine höhere Genauigkeit als auch eine  
35 höhere Geschwindigkeit erzielt werden kann.

Dazu wird das Taumeln und/oder Rotieren der zu vermessenden Probe kompensiert und/oder der Pyrometerstrahlengang und der Strahlengang des spektral-optischen Systems getrennt von einander geführt und/oder eine Trennung des

Strahlungssignals für die Temperaturmessung und des Strahlungssignals für die spektral-optische Messung durch eine Dunkeltastung des eingestrahlten Lichts realisiert. Eine Trennung der Strahlengänge kann derart erreicht werden, dass die pyrometrische Messung über einen von der spektral-optischen Messung getrennten Strahlengang erfolgt, wobei der Detektionswinkel (zur Probennormalen) des Pyrometers identisch zum Einfallswinkel der spektral-optischen Messung ist.

Hierdurch entfällt vorteilhafterweise die aufwendige Trennung von Temperatur-Signal und Reflexions-Signal mittels zweifacher Phasenmodulation. Dadurch, dass der Strahlengang des spektral-optischen Systems und der Strahlengang des Pyrometers geeignet getrennt geführt werden oder die Signaltrennung durch eine vom Beschichtungsprozess synchronisierte Dunkeltastung des eingestrahlten Lichts realisiert wird, ist für die erreichbare Zeitauflösung der Messung die Grenzfrequenz des genutzten Pyrometer-Detektors und nicht die Modulationsfrequenz der Lichtquelle oder des Detektionskanales maßgeblich.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass das am Pyrometer zu messende Temperatursignal nicht emissivitäts-verzerrt ist, da durch Taumel- bzw. Rotationskorrektur die Messung des Reflexionskoeffizienten unter industriellen Bedingungen präziser als nach dem Stand der Technik erfolgen kann.

Die Kompensation des Taumelns und/oder des Rotierens der zu vermessenden Probe wird bei schrägem Lichteinfall vorzugsweise durch einen sphärischen Spiegel realisiert wird, wobei sich die Probe im Mittelpunkt der Krümmungskugel des sphärischen Spiegels befindet. Im Falle des senkrechten Lichteinfalls wird die Kompensation des Taumelns und/oder des Rotierens der zu vermessenden Probe vorzugsweise durch eine Linse, einen Strahlteiler und eine Apertur realisiert.

Die Dunkeltastung des eingestrahlten Lichts ist vorzugsweise zur spektral-optischen Messung synchronisiert und kann durch einen Shutter realisiert werden.

Für den Fall einer auf einem Probenträger angeordneten Probe soll vorzugsweise eine Synchronisation der Dunkelastung mit der Rotation des Probenträgers erfolgen.

5

In einer bevorzugten Ausführungsvariante soll zusätzlich eine Messung des radialen Temperaturprofils des Probeträgers erfolgen.

- 10 Eine getrennte Detektion von Pyrometersignal und spektral-optischem Signal kann bei der Reflexions-Anisotropie-Spektroskopie vorzugsweise über die Ausführung des Analysator-Prismas als strahlteilenden Polarisationsprisma realisiert werden. Dabei wird automatisch der
- 15 Detektionswinkel des Pyrometers zur Probennormalen mit dem Einfallswinkel der spektral-optischen Messung zur Probennormalen identisch sein.

- Die Berechnung der effektive Emissivität  $\langle \epsilon \rangle$  einer Probe kann unter Zuhilfenahme eines Anti-Tunnel-Spiegels nach der Formel:
- 20

$$\langle \epsilon \rangle = (1 - R_P) * (1 + R_{ATS} * R_P) = \epsilon_P * (1 + R_{ATS} * R_P)$$

- 25 erfolgen, wobei  $R_P$  das Reflexionsvermögen der Probe,  $R_{ATS}$  das Reflexionsvermögen des Antitaumelspiegels und  $\epsilon_P$  die Emissivität einer absorbierenden Probe ohne Anti-Taumel-Optik ist.

- 30 Die Berechnung der effektive Emissivität  $\langle \epsilon \rangle$  einer transparenten Probe bei transmissiver Messung kann nach der Formel:

$$\langle \epsilon \rangle = \epsilon_{PT} * T_P * (1 + R_{ATS} * R_P + R_{ATS} * T_P^2 * R_{PT})$$

- 35 erfolgen, wobei  $T_P$  das Transmissionsvermögen der Probe,  $R_P$  das Reflexionsvermögen der Probe,  $R_{ATS}$  das Reflexionsvermögen des Antitaumelspiegels,  $R_{PT}$  das Reflexionsvermögen des Probenträgers und  $\epsilon_{PT}$  die Emissivität des Probenträgers ist.

Weiterhin ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass die spektral-optische Messung im Grenzfall lediglich mittels einer Wellenlänge erfolgen kann.

5

Die Vorrichtung zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist Mittel zur Kompensation des Taumelns und/oder des Rotierens der Probe und/oder Mittel zur Dunkelastung des eingestrahnten Lichts und/oder einen vom Pyrometerstrahlung getrennten Strahlengang für die spektral-optische Messung auf.

10

Das Mittel zur Dunkelastung des eingestrahnten Lichts ist vorzugsweise ein Shutter. Das Mittel zur Kompensation des Taumelns und/oder des Rotierens der Probe ist bei schrägem Lichteinfall vorzugsweise ein sphärischer Spiegel, wobei die Probe im Mittelpunkt der Krümmungskugel des sphärischen Spiegels angeordnet ist. Das Mittel zur Kompensation des Taumelns und/oder des Rotierens der Probe bei senkrechtem Lichteinfall weist vorzugsweise eine Linse, einen Strahlteiler und eine Apertur auf.

15

20

Weiterhin kann die erfindungsgemäße Vorrichtung in einer weiteren Ausführungsvariante mehrere Pyrometer aufweisen, welche in unterschiedlichen Entfernungen vom Mittelpunkt eines rotierbaren Probenträgers angeordnet sind.

25

Die Erfindung soll nachstehend anhand von zumindest teilweise in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert werden.

30

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung

35

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit

- taumelkompensierendem Spiegel und zwei Strahlteilern
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit taumelkompensierendem Spiegel und aus der Ebene der spektral-optischen Messung heraus gedrehter Pyrometerdetektion
- Fig. 4 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Linse, Strahlteiler und Apertur zur Taumelkompensation bei senkrechtem Lichteinfall
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Probenträgers mit darauf befindlichen Proben für einen Beschichtungsprozess.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Das emissivitätskorrigierte Pyrometer 10 bestimmt die Proben-Temperatur ( $T_s$ ) einer taumelnden (oder anderweitig nichtideal reflektierenden) Probe 14, welche auf dem Probenträger 24 angeordnet ist. Eine geeignete Taumelkompensationsoptik 26 ermöglicht die Unterbindung eines unerwünschten Intensitätsabfalls während der Messung aufgrund einer nicht ideal reflektierenden Probe. Eine solche Anti-Taumel-Optik kann für schrägen Lichteinfall über einen sphärischen Spiegel 12 realisiert werden, wie in Fig. 2 und 3 dargestellt ist. Dabei müssen Spiegel 12 und Probe 14 derart angeordnet sein, dass sich die Probe 14 im Mittelpunkt der Krümmungskugel des sphärischen Spiegels 12 befindet. Für einen senkrechten Lichteinfall läßt sich die Anti-Taumel-Optik durch eine Apertur 28, eine Linse 30 und einen Strahlteiler 16, wie in Fig. 4 dargestellt, realisieren. Über eine geeignete Anordnung ist die spektral-optische Messung 20 von Schichtparametern derart mit dem Pyrometer 10 verbunden, dass sie einerseits gleichzeitig und bei identischen Messbedingungen (z.B. gleichem Einfallswinkel) durchgeführt



werden kann und andererseits für die Auswertung der spektral-optischen Messung 20 unmittelbar die vom Pyrometer 10 gemessene Proben­temperatur ( $T_p$ ) genutzt werden kann. Dabei sind der Pyrometerstrahlengang und der Strahlengang des spektral-optischen Systems entweder getrennt geführt oder eine Messung der Signale wird über eine Dunkeltastung des eingestrahlten Lichts derart ermöglicht, dass eine aufwendige Signaltrennung nach dem Stand der Technik entfällt.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit taumelkompensierendem Spiegel 12 und zwei Strahlteilern 16. Hier wird, durch Einführung einer effektiven Emissivität  $\langle \epsilon \rangle$  (der Probe in Wechselwirkung mit der Antitaumel-Optik 12) ermöglicht, dass zusätzlich zur spektral-optischen Messung 20 und trotz der Intensitätsveränderung durch die Antitaumel-Optik 12, eine korrekte Proben­temperatur ( $T_p$ ) gemessen werden kann. Die spektral-optische Messung 20 von Schichtparametern wird hierbei durch eine Reflexions-Anisotropie-Spektroskopie oder eine spektrale Reflexionsmessung realisiert. Die Gesamtanordnung vereinigt spektral-optische Messung 20 und Pyrometer 10 dabei über einen zusätzlichen Strahlteiler. In einer weiteren Ausführungsvariante kann dies durch eine Anordnung realisiert werden, in welcher die pyrometrische Detektion aus der Ebene von spektral-optische Messung 20 und Anti-Taumel-Spiegel 12 herausgedreht ist, wobei der Einfallswinkel identisch ist, wie in Fig. 3 dargestellt ist.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Linse, Strahlteiler und Apertur zur Taumelkompensation bei senkrechtem Lichteinfall. Für Anwendungen, bei denen ein exakt senkrechter Lichteinfall (bzw. eine exakt senkrechte Lichtdetektion) notwendig ist, ist eine erfindungsgemäße Taumel-Kompensations-Optik einsetzbar, welche sich aus den Komponenten Linse 30, Strahlteiler 16, und Apertur 28 zusammensetzt.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Probenträgers mit darauf befindlichen Proben für einen Beschichtungsprozess. Selbst bei einer hohen Rotationsfrequenz des Probenträgers  $f_{\text{rot}}$  kann die Probentemperatur erfindungsgemäß exakt gemessen werden (aufgelöst für jede einzelne der 6 Proben und für den „Steg“ des Probenträgers zwischen den Proben auf der „Messspur“), solange die maximale Messfrequenz des Pyrometer-Detektors  $f_{\text{pyro}} > f_{\text{rot}}$  bleibt. Eine Modulation des Messlichtes für die spektral-optische Messung kann entfallen, wenn das Home-Signal des Probenträgers genutzt wird, um die Dunkeltastung des Messlichtes geeignet zu synchronisieren.

Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die hier dargestellten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination und Modifikation der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

### Bezugszeichenliste

5	
	10 Pyrometer
	12 Anti-Taumel-Spiegel
	14 Probe
	16 Strahlteiler
10	18 Lichtquelle
	20 spektral-optische Messung und Auswertung
	22 Shutter
	24 Probenträger
	26 Anti-Taumel-Optik
15	28 Apertur
	30 Linse
	32 Messpunkte für Pyrometer und spektral-optische Messung
20	

### Patentansprüche

- 5      1.      Verfahren zur Bestimmung charakteristischer  
Schichtparameter durch Einstrahlung von Licht auf eine  
Schichtstruktur, Bestimmung der Temperatur der Schicht  
mittels mindestens eines emissivitäts-korrigierten  
Pyrometers, spektral-optische Messung des  
10      reflektierten Lichts, Bestimmung der  
charakteristischen Schichtparameter,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Taumeln und/oder Rotieren der zu vermessenden  
Probe kompensiert wird  
15      und/oder  
dass der Pyrometerstrahlengang und der Strahlengang  
des spektral-optischen Systems getrennt von einander  
geführt werden  
und/oder  
20      dass eine Trennung des Strahlungssignals für die  
Temperaturmessung und des Strahlungssignals für die  
spektral-optische Messung durch eine Dunkeltastung des  
eingestrahlten Lichts realisiert wird.
- 25      2.      Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Kompensation des Taumelns und/oder des  
Rotierens der zu vermessenden Probe durch einen  
sphärischen Spiegel realisiert wird, wobei sich die  
30      Probe im Mittelpunkt der Krümmungskugel des  
sphärischen Spiegels befindet.
- 35      3.      Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Kompensation des Taumelns und/oder des  
Rotierens der zu vermessenden Probe durch eine Linse,  
einen Strahlteiler und eine Apertur realisiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine Trennung des Strahlungssignals für die  
Temperaturmessung und des Strahlungssignals für die  
5 spektral-optische Messung durch eine synchronisierte  
Dunkeltastung des eingestrahlten Lichts realisiert  
wird
5. Verfahren nach Anspruch 1,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Dunkeltastung mittels eines Shutters  
realisiert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, 5 oder 6,  
15 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine Synchronisation der Dunkeltastung mit der  
Rotation einer auf einem Probenträger angeordneten  
Probe erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6,  
20 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass zusätzlich eine Messung des radialen  
Temperaturprofils des Probeträgers erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7,  
25 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine Trennung des Pyrometerstrahlengangs und des  
Strahlengangs des spektral-optischen Systems bei der  
Reflexions-Anisotropie-Spektroskopie über ein  
30 strahlteilendes Polarisationsprisma bewirkt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1,  
35 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Pyrometerstrahlengang vom Strahlengang der  
spektral-optischen Messung getrennt verläuft, wobei  
der Detektionswinkel des Pyrometers zur Probennormalen  
identisch zum Einfallswinkel der spektral-optischen  
Messung zur Probennormalen ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass Berechnung der effektive Emissivität  $\langle \epsilon \rangle$  einer  
5 Probe nach der Formel:

$$\langle \epsilon \rangle = (1 - R_P) * (1 + R_{ATS} * R_P) = \epsilon_P * (1 + R_{ATS} * R_P)$$

10 erfolgt, wobei  $R_P$  das Reflexionsvermögen der Probe,  
 $R_{ATS}$  das Reflexionsvermögen des Antitaumelspiegels und  
 $\epsilon_P$  die Emissivität einer absorbierenden Probe ohne  
Anti-Taumel-Optik ist.

11. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass Berechnung der effektive Emissivität  $\langle \epsilon \rangle$  einer  
transparenten Probe und transmissiver Messung nach der  
Formel:

20 
$$\langle \epsilon \rangle = \epsilon_{PT} * T_P * (1 + R_{ATS} * R_P + R_{ATS} * T_P^2 * R_{PT})$$

25 wobei  $T_P$  das Transmissionsvermögen der Probe,  $R_P$  das  
Reflexionsvermögen der Probe,  $R_{ATS}$  das  
Reflexionsvermögen des Antitaumelspiegels,  $R_{PT}$  das  
Reflexionsvermögen des Probenträgers und  $\epsilon_{PT}$  die  
Emissivität des Probenträgers ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
dass die spektral-optische Messung lediglich mittels  
einer Wellenlänge erfolgt.

13. Vorrichtung zur Bestimmung charakteristischer  
35 Schichtparameter aufweisend ein spektral-optisches  
System, mindestens ein emissivitäts-korrigiertes  
Pyrometer und eine Auswerteeinheit,  
gekennzeichnet durch

Mittel zur Kompensation des Taumelns und/oder des  
Rotierens der Probe  
und/oder  
Mittel zur Dunkeltastung des eingestrahnten Lichts.

5

14. Vorrichtung nach Anspruch 13,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Mittel zur Dunkeltastung des eingestrahnten  
Lichts ein Shutter ist.

10

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Mittel zur Kompensation des Taumelns und/oder  
des Rotierens der Probe ein sphärischer Spiegel ist,  
wobei die Probe im Mittelpunkt der Krümmungskugel des  
sphärischen Spiegels angeordnet ist.

15

16. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass Mittel zur Kompensation des Taumelns und/oder des  
Rotierens der Probe eine Linse, einen Strahlteiler und  
eine Apertur aufweist.

20

17. Vorrichtung nach Anspruch 13 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Vorrichtung mehrere Pyrometer aufweist,  
welche in unterschiedlichen Entfernungen vom  
Mittelpunkt eines rotierbaren Probenträgers angeordnet  
sind.

25

30

18. Vorrichtung nach Anspruch 13 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Vorrichtung zusätzlich mindestens einen  
Strahlteiler und/oder ein strahlteilendes  
Polarisationsprisma aufweist.

35

### Zusammenfassung

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung charakteristischer Schichtparameter mittels
- 5 spektral-optischer Messungen anzugeben, welches eine Präzisionsmessung der Probentemperatur auch unter den Bedingungen industrieller Wachstumsprozesse, d.h. taumelnder Proben und/oder schneller Wechsel zwischen Probenträger und Probe erlaubt und weiterhin eine Detektion
- 10 von Temperaturstrahlung und Reflexionsstrahlung mittels zweifacher phasenempfindlicher Frequenzmodulation durch sog. Chopper und Lock-in Verstärker bzw. mehrerer Pyrometer vermeidet.
- 15 Dazu wird das Taumeln und/oder Rotieren der zu vermessenden Probe kompensiert und/oder der Pyrometerstrahlengang und der Strahlengang des spektral-optischen Systems getrennt von einander geführt und/oder eine Trennung des Strahlungssignals für die Temperaturmessung und des
- 20 Strahlungssignals für die spektral-optische Messung durch eine Dunkeltastung des eingestrahlten Lichts realisiert.

Fig. 3